



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

ANALÝZA MECHANICKÉHO CHOVÁNÍ SYNCHRONNÍHO GENERÁTORU

ANALYSIS OF MECHANICAL BEHAVIOUR OF SYNCHRONOUS GENERATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN DONÁT

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DANIEL DUŠEK, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Donát

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Inženýrská mechanika a biomechanika (3901T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza mechanického chování synchronního generátoru

v anglickém jazyce:

Analysis of mechanical behaviour of synchronous generator

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V rámci řešení by měly být provedeny deformačně napěťové a modální výpočty konstrukce synchronního generátoru.

Cíle diplomové práce:

Provést deformačně napěťovou a modální analýzu konkrétního modelu synchronního generátoru.

Seznam odborné literatury:

Slavík, J., Stejskal, V., Zeman, V., Základy dynamiky strojů, ČVUT Praha, Praha, 1997.

Kratochvíl, C., Slavík, J., Dynamika, VUT Brno, Brno, 1997.

ANSYS, ANSYS reference manual

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniel Dušek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá analýzou mechanického chování synchronního generátoru a posouzením možnosti snížení hmotnosti kostry generátoru. Cílem práce bylo provést deformačně napěťovou a modální analýzu konkrétního modelu synchronního generátoru, posouzení vlivu jednotlivých prvků kostry generátoru na její celkovou tuhost a návrh konstrukčních úprav kostry generátoru, které povedou ke snížení její hmotnosti.

Klíčová slova

Synchronní generátor, deformačně napěťová analýza, modální analýza, kritické otáčky, vlastní frekvence.

Abstract

This Master's thesis deals with analysis of mechanical behaviour of the synchronous generator and assessment of the possibility of reducing the mass of the frame of the generator. The aims of this work were: to perform the stress-strain analysis and modal analysis of the required model of the synchronous generator, to assessment influence of single part of the frame of the generator over its stiffness and design construction modification of the frame of the generator, which reduce its mass.

Key words

Synchronous generator, stress-strain analysis, modal analysis, critical speed, natural frequency.

Citace

DONÁT, M. Analýza mechanického chování synchronního generátoru.

Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 81 s.

Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Dušek, Ph.D.

Prohlášení:

Tímto prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracoval sám pod vedením svého vedoucího diplomové práce pana Ing. Daniela Duška, Ph.D., na základě použité literatury.

V Brně dne 10. května 2010

Bc. Martin Donát

Poděkování:

Těmito řádky bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Danielu Duškovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a čas, který mi při tvorbě této práce věnoval.

Obsah

1. Úvod.....	5
2. Teoretický základ.....	6
2.1 Synchronní generátor.....	6
2.2 Metoda konečných prvků (MKP).....	7
2.3 Použité typy prvků.....	10
2.4 Stručná charakteristika použitých prvků.....	10
3. Analýza mechanického chování synchronního generátoru.....	12
3.1 Analýza tuhosti kostry generátoru.....	12
3.2 Deformačně napěťová analýza kostry generátoru při teplotním a silovém zatížení...	22
3.3 Modální analýza generátoru.....	39
3.3.1 Modální analýza kostry generátoru.....	39
3.3.2 Modální analýza rotoru generátoru.....	45
4. Návrh konstrukčních úprav kostry generátoru.....	55
5. Analýza mechanického chování upravené kostry generátoru.....	66
5.1 Analýza tuhosti upravené kostry generátoru.....	66
5.2 Deformačně napěťová analýza upravené kostry generátoru při teplotním a silovém zatížení.....	70
5.3 Modální analýza upravené kostry generátoru.....	77
6. Závěrečné zhodnocení.....	80
6.1 Závěry vyplývající z analýzy mechanického chování kostry generátoru.....	80
6.2 Závěry vyplývající z návrhu konstrukčních úprav.....	80
6.3 Závěry vyplývající z analýzy mechanického chování upravené kostry generátoru...	80
7. Seznam použité literatury.....	81

1. Úvod

Má-li být výrobek konkurenceschopný, musí splňovat celou řadu kritérií. Za nejdůležitější kritérium lze, z pohledu dnešní doby, považovat dosažení optimálního poměru mezi spolehlivostí výrobku a jeho cenou. Do konečné ceny výrobku se promítá celá řada položek, mimo jiné i náklady na přepravu hotového výrobku. V případě rozměrných výrobků je výše těchto nákladů významně ovlivněna hmotností výrobku.

Cílem této práce je provést deformačně napětovou a modální analýzu konkrétního modelu synchronního generátoru a posoudit možnost snížení hmotnosti jeho kostry. Jedná se tedy o optimalizační úlohu. Optimalizaci lze chápat jako proces hledání takových hodnot nezávisle proměnných, aby při určitých omezeních na ně kladených, dosahovala závisle proměnná extrémní hodnoty [1]. Nezávisle proměnnými jsou v našem případě geometrické rozměry kostry synchronního generátoru a konstitutivní materiálové charakteristiky. Závisle proměnnou je hmotnost kostry generátoru.

Vstupy do výpočtu tvoří geometrické rozměry generátoru, konstitutivní materiálové charakteristiky, silové a teplotní zatížení. Výstupy hledáme jako odezvu kostry generátoru na silové a teplotní namáhání. Jedná se tedy o přímý problém a k řešení je vhodné použít metodu konečných prvků.

Práce je rozdělena do tří hlavních částí. V první části byla provedena analýza mechanického chování zadaného synchronního generátoru. Tato část je zaměřena na posouzení tuhosti kostry generátoru, jež spočívá ve výpočtové simulaci třískového obrábění vybraných prvků kostry generátoru, deformačně napětovou analýzu kostry generátoru zatížené teplotním a silovým zatížením, modální analýzu kostry generátoru a modální analýzu rotoru generátoru. V druhé části je na úrovni zjednodušeného modelu analyzován vliv jednotlivých výstužných prvků kostry generátoru na její celkovou tuhost a jsou navrženy konstrukční úpravy, které vedou ke snížení hmotnosti kostry generátoru. Ve třetí části je vhodnost konstrukčních úprav ověřena provedením analýzy tuhosti upravené kostry generátoru, deformačně napětové analýzy upravené kostry generátoru při zatížení teplotním a silovým zatížením a modální analýzy upravené kostry generátoru.

6. Závěrečné zhodnocení

6.1 Závěry vyplývající z analýzy mechanického chování generátoru

Kostra generátoru je nejvíce deformačně namáhána při obrábění otvoru pro uložení ložiska B v zadní přírubě (průměr D1) a ploch pro uložení statorového vinutí na vnitřních čtyřhranných tyčích (průměr D2).

Dynamické zatížení způsobené při provozu generátoru magnetickým tahem, nemá významný vliv na únavové poškození kostry generátoru. Nejvíce namáhaným prvkem při provozu generátoru jsou svarové spoje vnitřních čtyřhranných tyčí s pláštěm. Generátor v průběhu svého života vykoná řádově několik tisíc cyklů, kdy je odstaven a znovu uveden do provozu, to znamená, že odezva kostry generátoru na teplotní a silové zatížení má cyklický charakter. Kontrolou svarových spojů na mezní stav únavy však bylo prokázáno, že v předpokládané návrhové době života generátoru nedojde k únavovému poškození svarů.

Při rozběhu generátoru nedochází k vybuzení žádného vlastního tvaru kmitání kostry generátoru, rotor generátoru však přejíždí devětkrát kritické otáčky. Teplotní ani silové zatížení nemá významný vliv na modální vlastnosti kostry generátoru.

6.2 Závěry vyplývající z návrhu konstrukčních úprav

Z požadavků uvedených v úvodu kapitoly číslo 4 a analýzy tuhosti zjednodušeného modelu původní kostry generátoru (odstavec 4.2) vyplynulo, že podstata konstrukčních úprav spočívá v nalezení vhodného poměru mezi tloušťkou pláště a rozměry průřezu výstužných tyčí. Analýza zjednodušených modelů upravených koster ukázala, že nejvhodnější kombinací je tloušťka pláště 20mm a šest výstužných tyčí z dutého obdélníkového profilu o jmenovitém rozměru průřezu 200x100x16mm (šířka x výška x tloušťka stěny).

6.3 Závěry vyplývající z analýzy mechanického chování upravené kostry generátoru

Navržené rozměry kostry generátoru vyhovují požadavku na zachování tuhosti kostry generátoru a vhodných modálních vlastností vzhledem k možným provozním stavům. Hmotnost původní kostry generátoru je 9 286kg, hmotnost upravené kostry generátoru je 8 169, to znamená, že úspora hmotnosti upravené kostry generátoru oproti původní kostře generátoru je 1 117kg, stanovené cíle se tedy podařilo splnit beze zbytku.

7. Seznam použité literatury

- [1] Janíček, P.: Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky - hledání souvislostí, Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2007, ISBN 978-80-7204-554-9
- [2] Hamer, M.: Elektrotechnika a elektronika – Přednášky, Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, Akademické nakladatelství CERM, 2006, ISBN 80-214-3334-5
- [3] Kocman, S.: Synchronní stroje, Katedra obecné elektrotechniky FEI VŠB – TU Ostrava, 2004, fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/sylab_synchronni%20stroje_bc%20FS.pdf
- [4] Petruška, J.: MKP v inženýrských výpočtech, výuková opora
- [5] Burša, J.: Studijní materiály, www.umt.fme.vutbr.cz/~jbursa/MKP4.doc
- [6] Release 11.0 Documentation for ANSYS, ANSYS, Inc., 2007
- [7] Petruška, J.: Nelineární úlohy v MKP, výuková opora